مقاله تحقیقی

بررسی سیتوژنتیکی انار (*Punica granatum L.*): متا آنالیز

شیوا شهسواری[۱]، زهرا نورمحمدی[۱،*]، مسعود شیدایی[۲،*]، فرح فراهانی[۳]، محمدرضا وظیفه شناس[۴]

۱. گروه زیست شناسی، واحدعلوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. دانشکده علوم زیستی و بیوتکنولوژی،دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. گروه میکروبیولوژی، واحد قم، دانشگاه آزاداسلامی، قم، ایران
۴. بخش اصلاح گیاه و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد، یزد، ایران

***مسئول مکاتبات:** زهرا نور محمدی آدرس الکترونیکی: marjannm@yahoo.com، z-nouri@srbiau.ac.ir و مسعود شیدایی آدرس الکترونیکی: msheidai@yahoo.com، msheidai@sub.ac.ir

محل انجام تحقیق: دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات تهران- مجتمع آزمایشگاهی رازی

تاریخ دریافت:۹۹/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش:۹۹/۱۱/۲۶

فصلنامه علمی پژوهشی دانش زیستی ایران
جلد ۱۵- شماره ۱- بهار ۹۹

چکیده

انار (*Punica granatum* L.)، از جمله گیاهان مهم باغبانی است که در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود و به دلیل ارزش میوه و خواص دارویی آن دارای اهمیت است. چندین رقم انار در ایران کشت می‌شود که از نظر خصوصیات میوه و ویژگی‌های زراعی متفاوت است. علیرغم اهمیت اقتصادی ارقام انار، اطلاعات کمی در مورد ویژگی‌های ژنتیکی و سیتوژنتیکی این ارقام در دسترس است. بنابراین، هدف ما بررسی دوازده رقم گزارش نشده از نظر سیتوژنتیکی و همچنین گردآوری کلیه داده‌های موجود در مورد جفت شدن کروموزوم، فراوانی کیاسما و بی نظمی‌های میوز در ۸۸ رقم و انجام متاآنالیز است. نتایج نشان داد که همه ارقام دارای تعداد کروموزوم۲n=۲x=۱۶ هستند، اما به طور قابل توجهی در تمام ویژگی‌های میوز مورد مطالعه متفاوت‌اند. بسیاری از ویژگی‌های میوزی مورد مطالعه به طور قابل توجهی ارتباط معنی داری در تجزیه و تحلیل رسته بندی مولفه‌های اصلی PCA نشان دادند که ویژگی‌هایی مانند فراوانی و توزیع کیاسما و همچنین بی‌والانت حلقوی به یکدیگر مرتبط هستند و ارقام با طول جغرافیایی متفاوت از یکدیگر متمایز می‌شوند. به طور مثال، ویژگی‌های مربوط به بی‌نظمی‌های میوز مانند چسبندگی کروموزومی و اختلال در آنافاز در ارقام، بر اساس ارتفاع از یکدیگر متمایز می‌شوند. بر اساس نتایج بدست آمده از PCA ارقام انار، به دلیل اختلافات در صفات میوزی، در سه گروه اصلی قرار می‌گیرند. از داده‌های به دست آمده می‌توان در آینده در نگهداری و پرورش انار استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی:کیاسما، رفتارکروموزومی، همبستگی جغرافیایی، میوز

مقدمه

انار (*Punica granatum* L.) یک گونه مهم و دارای میوه خوراکی است که بومی ایران و هیمالیا در شمال هند است. میوه انار دارای خصوصیات مهم عملکردی و مغذی است و از عصاره میوه آن در بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت و سرطان پروستات استفاده شده‌است (۱). انار دارای ارزش

اقتصادی فراوانی بوده و در بسیاری از مناطق جغرافیایی کشور با شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک کشت می‌شود.

تعداد زیادی از ارقام انار در مراکز مختلف ژرم پلاسم انار در ایران، انتخاب و جمع‌آوری شده‌است. این ارقام از نظر مورفولوژیکی، زراعی و میوه‌ای تفاوت معنی‌داری داشتند (۲). پیشنهاد شده است که ارقام انار با فعل و انفعالات جغرافیایی پیچیده، انتخاب طبیعی و سازگاری با محیط، هیبریداسیون و فشار اهلی شدن، مواجه هستند و در نتیجه، ارقام مختلف از نظر ژنتیکی و فنوتیپی از یکدیگر جدا می شوند (۱).

مطالعات سیتوژنتیکی مربوط به فراوانی و توزیع کیاسما، تفکیک کروموزومی و مکانیسم های سیتولوژیکی از جمله تشکیل گرده‌ها / گامت‌های کاهش‌نیافته و کاهش‌یافته بارور، اطلاعات ارزشمندی را در مورد تنوع ژنتیکی، سطح پلی‌پلوئیدی، سازگاری ژنتیکی محلی و جغرافیایی و همچنین پتانسیل تولید انواع گامت‌های 2n در اختیار ما قرار دهد (۷-۳).

به‌طور کلی، مطالعات سیتوژنتیک محدودی روی انار در جهان انجام شده‌است و علی‌رغم اهمیت اقتصادی این گیاه باغی و سطح زیرکشت این رقم در کشور، گزارش‌های سیتوژنتیکی موجود، پراکنده است و داده‌های مربوط به جفت‌شدن کروموزوم‌ها، فراوانی کیاسما و بی‌نظمی‌های میوزی ناچیز است (۵،۲،۶،۱۰-۸).

هدف ما جمع‌آوری ویژگی‌های سیتوژنتیکی انار خوراکی به‌ویژه داده‌های مربوط به فراوانی کیاسما، پراکندگی و بی‌نظمی‌های میوز این ارقام گرانبهااست. بدین منظور، ۱۲ رقم انار که قبلاً مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند، بررسی سیتوژنتیکی در تقسیم میوز شدند و با داده‌های به‌دست آمده از سایر ارقام گزارش‌شده (در کل ۸۸ رقم) متاآنالیز شدند.

مواد و روش ها

جمع‌آوری نمونه‌ها و آنالیز سیتوژنتیک

در این مطالعه دوازده رقم انار ایرانی شامل: اردستانی ترش، دانه سیاه، سیاه دانه کن، رباب پوست قرمز، ساوه‌ای ترش، پوست سفید، شیرین پوست نازک، شیرین شهوار، طوق گردن، گرچ شهوار، گلنار و مخمل شهرضا از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد جمع‌آوری شد. به‌منظور به‌دست آوردن بهترین و مناسب-ترین اندازه‌های غنچه که می‌بایست حاوی سلول‌های مناسب در مرحله تقسیم باشد، نمونه‌برداری از سایزهای مختلف غنچه از ساعت ۸ صبح الی ۱۲ ظهر انجام شد. روش نمونه‌برداری به این صورت است که غنچه‌ها به وسیله تیغ اسکالپل از شاخه جدا می‌شوند. سپس تا ۲۴ ساعت در محلول تثبیت کننده (استیک اسید : اتانول ۷۵٪ با نسبت ۳:۱) قرار می‌گیرند. به منظور خارج شدن اثرات اسید استیک از غنچه‌ها لازم است تا پس از خروج از محلول فیکساتیو چندبار به مدت چند دقیقه در آب قرار گرفته و شستشو شوند. سپس در محلول اتانول ۷۵٪ قرار گرفته و برای چندین سال می‌توان از آنها استفاده نمود (۶). جفت شدن کروموزوم‌ها و فراوانی کیاسما، بی‌نظمی‌های میوز در متافاز، ناهنجاری های کروموزمی همچون میکرونوکلئی، چسبندگی و کروموزوم‌های سرگردان در آنافاز ۱ و ۲ و تلوفاز و در نهایت دانه گرده کاهش‌نیافته در حداقل ۱۰۰ میوز هر رقم مورد مطالعه با میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۴۰ و ۱۰۰ بررسی شد. داده‌های ارقام دیگر (۷۶ رقم) از مطالعات قبلی ما استخراج شده و مطالعات متاآنالیز انجام شد(۵،۶،۲،۱۰-۸).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آنالیز ANOVA برای نشان دادن تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های میوز ارقام انار مورد مطالعه انجام شد. ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های میوزی تعیین شد. از تجزیه و تحلیل PCA برای مشخص کردن متفاوت ارقام انار و گروه بندی ارقام براساس ویژگی‌های سیتوژنتیک مورد مطالعه استفاده شد (۱۱). به منظور تجزیه و تحلیل داده ها و متاانالیز از نرم افزار PAST نسخه ۲ و package R- استفاده شد.

نتایج

اسامی ارقام، پراکندگی جغرافیایی و تعداد کروموزوم در جدول۱ ارائه شده است.

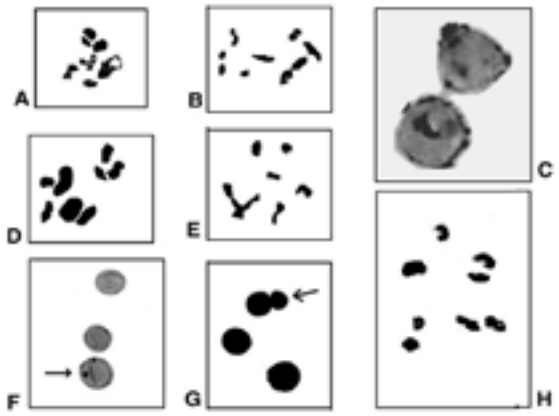
جدول ۱ - توزیع جغرافیایی و ویژگی‌های میوز در ارقام انار.

ردیف	نام ارقام	موقعیت جغرافیایی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	۲n
۱	نیتالخی	ایران- بندرعباس	۵۶۳	۲۷۱۹	۱۷	۱۶
۲	قرمز نار شیرین	ایران- شبستر	۴۵۷	۳۸۱۷	۱۴۱۷	۱۶
۳	ملس شهوار۱	ایران- بافق	۵۵۴	۳۱۶	۹۹۲	۱۶
۴	داداش پوست کلفت	ایران- شبستر	۴۵۷	۳۸۱۷	۱۴۱۷	۱۶
۵	گلنار	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۶	شاهی ترش	ایران- کرمان	۵۷۰۷	۳۰۲۸	۱۷۶۴	۱۶
۷	ترش پوست کلفت	ایران- اردل	۵۰۶۶	۳۱۹۹	۱۸۵۱	۱۶
۸	ملس طوقی	ایران- گرکان	۵۴۴۳	۳۶۸۴	۱۳۳	۱۶
۹	ملس ترش	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۱۰	ملس شیرین	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۱۱	الک ترش	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۱۲	بریت	ایران- کازرون	۵۱۶۴	۲۹۶۱	۸۳۴	۱۶
۱۳	گل مگسی	ایران- تفت	۵۴۲	۳۱۷۴	۱۵۳۰	۱۶
۱۴	انار سیاه	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۱۵	ملس شهوار ۲	ایران- بافق	۵۵۴	۳۱۶	۹۹۲	۱۶
۱۶	ردکی	ایران- بافق	۵۵۴	۳۱۶	۹۹۲	۱۶
۱۷	ترش نار	ایران- شبستر	۴۵۷	۳۸۱۷	۱۴۱۷	۱۶
۱۸	ملس ترش ۲	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۱۹	ملس شیرین ۲	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۰	الک ترش ۲	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۱	بی هسته	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۲	۳۱۰	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۳	۴۹	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۴	۳۰۱	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۵	۲۶۵	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۶	۳۵۰	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۷	۳۹	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۸	۴۹	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۲۹	آقامحمدعلی۲	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۳۰	بی هسته	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۳۱	تابستانی ترش	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۳۲	۱۵۸	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۳۳	الک ترش ۲	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۳۴	ملس ترش ۲	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۳۵	ملس شیرین ۲	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶

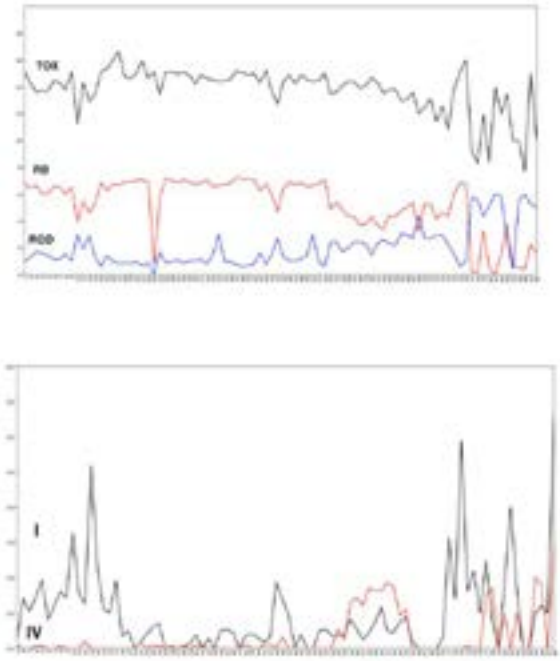
۳۶	۳۱۰	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۳۷	۲۵۱	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۳۸	الک شیرین ۲	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۳۹	سفید شیرین	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۴۰	سفید ترش	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۴۱	الک سقانلین	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۴۲	ملس علاء	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۴۳	گلنار	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۴۴	بریت	ایران- کازرون	۵۱۶۴	۲۹۶۱	۸۳۴	۱۶
۴۵	شیرین هسته ریز	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۴۶	آقامحمدعلی	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۴۷	بی هسته	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۴۸	تابستانه	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۴۹	الک ترش	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۵۰	ملس ترش	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۵۱	ملس شیرین	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۵۲	الک شیرین	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۵۳	اتابکی حفره	ایران- جهرم	۵۳۵۶	۲۸۵	۱۰۴۳	۱۶
۵۴	ملس آق دایی	ایران- تربت حیدریه	۵۹۲۲	۳۵۲۸	۱۳۶۵	۱۶
۵۵	بجستونی پوست کلفت ملسی	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۵۶	انباری دانه قرمز	ایران- کاشان	۵۱۴۴	۳۳۹۸	۹۴۴	۱۶
۵۷	ملس گردن بلند	ایران- اشکذر	۵۴۲	۳۱۹۹	۱۱۷۵	۱۶
۵۸	بجستونی ترش	ایران- خزر	۵۰۹۷	۳۶۷۳	۱۵	۱۶
۵۹	داداشی پیوندی	ایران- اشکذر	۵۴۲	۳۱۹۹	۱۱۷۵	۱۶
۶۰	گل ترش- معمولی	ایران- تفت	۵۴۲	۳۱۷۴	۱۵۳۰	۱۶
۶۱	شیرین پوست نازک	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۶۲	شهوار- ترش	ایران- زنجان	۴۸۴۹	۳۶۶۸	۱۶۷۸	۱۶
۶۳	ملس	ایران- زواره اردستان	۵۲۴۸	۳۳۴۴	۹۸۴	۱۶
۶۴	ملس خمره ای	ایران- درازجان- سمنان	۵۳۳۸	۳۵۵۸	۱۱۶۴	۱۶
۶۵	گلابی هسته درشت	ایران- سنگان	۶۰۲۵	۳۴۴	۸۷۳	۱۶
۶۶	بذری مورست	ایران- اشکذر– یزد	۵۱۶۷	۳۲۶۷	۱۵۷۵	۱۶
۶۷	خوش پوست کلفت	ایران- شهر بابک	۵۵۱۱	۳۰۱۲	۱۸۲۵	۱۶
۶۸	جنگلی پوست قرمز	ایران- رودبار	۴۹۴۲	۳۶۸۲	۲۱۲	۱۶
۶۹	ملس پیشوا	ایران- ورامین	۵۱۶۴	۳۵۳۲	۹۲۰	۱۶
۷۰	شیرین شهوار	ایران- اشکذر-یزد	۵۱۶۷	۳۲۶۷	۱۵۷۵	۱۶
۷۱	ملس پوست قرمز	ایران- اصفهان	۵۱۶۷	۳۲۶۷	۱۵۷۵	۱۶
۷۲	آبداندان	ایران- سمنان	۵۳۳۸	۳۵۵۸	۱۱۶۴	۱۶
۷۳	ملس ناهوک	ایران- سراوران	۴۹۶۵	۳۷۰۸	۷۸	۱۶

۷۴	ملس طوقی	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
۷۵	انار سیاه	ایران- اشکذر-یزد	۵۱۶۷	۳۲۶۷	۱۵۷۵	۱۶
۷۶	ردکی	ایران- ساوه	۵۰۳۵	۳۵۰۲	۱۰۱۳	۱۶
	ارقام مورد مطالعه در این تحقیق					
۷۷	اردستانی- ترش	ایران- سمنان	۵۳۳۸	۳۵۵۸	۱۱۶۴	۱۶
۷۸	دانه سیاه	ایران- رامهرمز	۴۹۶	۳۱۲۷	۱۶۶	۱۶
۷۹	سیاه دانه – کن	ایران- تهران	۵۱۲۷	۳۵۷۵	۱۳۸۱	۱۶
۸۰	رباب- پوست قرمز	ایران- فارس	۵۱۶۴	۲۹۶۱	۸۳۴	۱۶
۸۱	ساوه ای- ترش	ایران- اصفهان	۵۱۶۷	۳۲۶۷	۱۵۷۵	۱۶
۸۲	پوست سفید	ایران- دزفول	۴۸۱۴	۳۲۳۸	۱۴۲	۱۶
۸۳	شیرین پوست نازک	ایران- سمنان	۵۳۳۸	۳۵۵۸	۱۱۶۴	۱۶
۸۴	شیرین شهوار	ایران- اشکذر- یزد	۵۱۶۷	۳۲۶۷	۱۵۷۵	۱۶
۸۵	طوق گردن	ایران- یزد	۵۴۳۵	۳۱۸۸	۱۲۲۲	۱۶
۸۶	گرج شهوار	ایران- یزد	۵۴۳۵	۳۱۸۸	۱۲۲۲	۱۶
۸۷	گلنار	ایران- کرمان	۵۷۰۷	۳۰۲۸	۱۷۶۴	۱۶
۸۸	مخمل شهرضا	ایران- شهرضا – اصفهان	۵۱۸۵	۳۲	۱۸۳۳	۱۶

جفت شدن کروموزوم‌ها، فراوانی و توزیع کیاسما و همچنین بی نظمی‌های میوز و تشکیل دانه گرده کاهش-نیافته در ارقام انار مورد مطالعه در جداول S1، S2 و شکل ۱ ارائه شده است. آزمون مربع کای تفاوت معنی‌داری را در صفات سیتوژنتیکی در بین انارهای مورد مطالعه نشان داد (P<۰/۰۱، شکل ۲). ضریب همبستگی تعیین شده در میان خصوصیات میوز در ارقام مورد مطالعه در جدول S3 ارائه شده است. همبستگی معنی‌داری در اکثر خصوصیات مورد مطالعه مشاهده شد.



شکل ۱ - از A تا H نماینده سلول‌های میوزی هستند که به ترتیب از ارقام ۱-۸ دانه‌های گرده کاهش نیافته و جفت شدن کروموزومی را نشان می‌دهند.



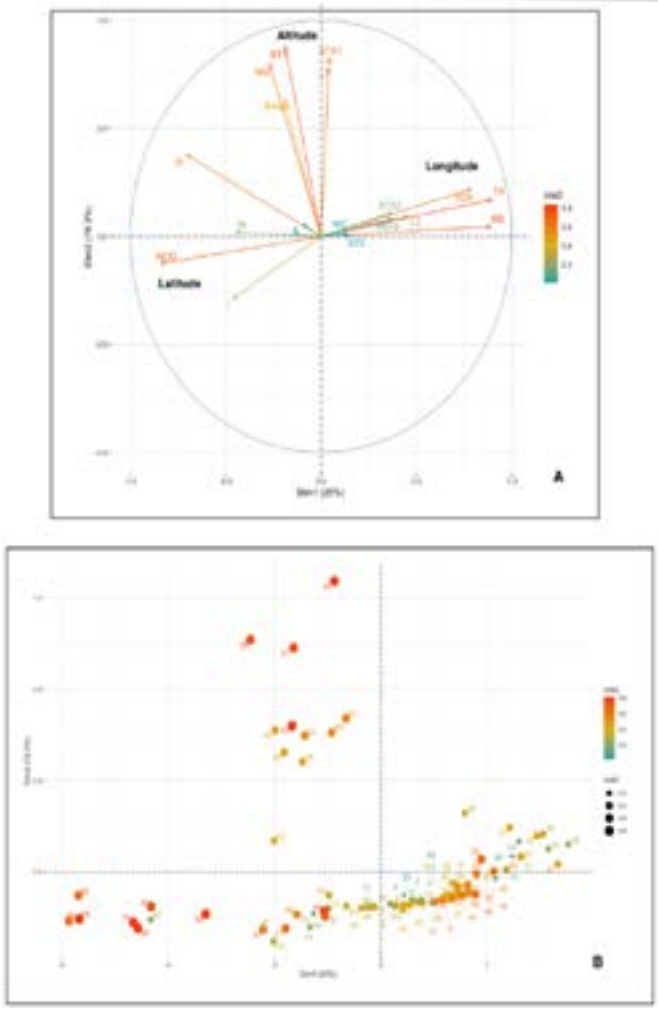
شکل ۲ - نمودار تفاوت در خصوصیات میوزی در ارقام انار را نشان می‌دهد.(مخففها: TX= کیاسمای انتهایی، IX= کیاسمای میانی، TOX= کیاسمای کل، I= یونی والانت، IV= کوادری والانت).

آنالیز داده‌های میوز بر اساس PCA (شکل ۳ A و B)، نشان داد که سه مولفه اول PCA حدود ۹۰٪ از تغییرات کلی را شامل می‌شوند.

این مقدار زیاد واریانس در مولفه‌ها معمولاً هنگامی اتفاق می‌افتد که ویژگی‌های مورد بررسی با هم همبستگی بالایی داشته باشند و بتوانند ارقام را به اندازه کافی از یکدیگر متمایز کنند که فراوانی کیاسما محل قرارگیری آن (TX= کیاسما انتهایی، IX= کیاسما میانی، TOX= کیاسما کل و RB = بی‌والانت حلقوی) ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند و عمدتاً ارقام انار را براساس طول جغرافیایی متمایز می‌کنند. در مقابل کروموزوم های یونی والانت (I)، بی‌والانت میله‌ای (ROD) و کوادری والانت (IV) با یکدیگر همبستگی دارند و با فراوانی کیاسما و تمایز ارقام انار بر اساس عرض جغرافیایی به صورت منفی عمل می‌کنند.

به طور مشابه، بررسی ناهنجاری‌های میوز مانند چسبندگی کروموزوم و تشکیل پل آنافازی در ارقام، همبستگی با ارتفاع از سطح دریا، نشان داد که هر چه ارقام در ارتفاع بالاتری رشد کنند به شدت تحت تأثیر ناهنجاری-های میوز و کاهش تولید گرده بارور قرار می‌گیرند.

رسته بندی PCA (شکل B۳)، ارقام مورد مطالعه را تقریباً در سه گروه اصلی قرار داد. با این حال، ارقام قرار گرفته در هر گروه اصلی نیز با هم متفاوت بودند. تفاوت و تأثیر ویژگی‌های میوز روی این ارقام با مقدار cos ^ 2 در PCA، هم از طریق شدت رنگ و هم قطر دایره های cos ^ 2 نشان داده شده است. به عنوان مثال، در گروه ۳، ارقام ۵۴، ۵۷ و ۵۹ بسیار متفاوت‌تر از ارقام دیگر در گروه ۳ هستند. بنابراین دارای رنگ شدیدتر و دایره‌هایی با اندازه بزرگتر هستند. این موضوع در مورد انارهایی که در دو گروه اصلی دیگر PCA قرار گرفتند نیز صدق می‌کند.



شکل ۳ - رسته بندی های PCA: A نشان دادن همبستگی بین خصوصیات میوز و پراکندگی جغرافیایی ارقام انار مورد مطالعه و B: گروه-بندی ارقام براساس ویژگی‌های میوز.

بحث

مطالعه حاضر تفاوت معنی‌داری را در ویژگی‌های میوز مانند فراوانی و پراکندگی کیاسما و جفت شدن کروموزوم ارقام انار مورد مطالعه نشان داد. نوترکیبی میوز با روش‌های سیتولوژی و ژنتیکی و همچنین با رویکردهای مولکولی بررسی شده است. این یک روش کارآمد برای مطالعه ساختار ژنوم درنظرگرفته شده است.

فراوانی کیاسما/نوترکیبی، مانند سایر ویژگی‌های میوز، تحت کنترل ژنتیکی است و ممکن است درون و بین کروموزوم‌ها باشد و همچنین در بین جمعیت‌ها و گونه‌ها متفاوت باشد. اگرچه، عوامل محیطی و جمعیتی می‌توانند بر میزان نرخ نوترکیبی تأثیر بگذارند، این پدیده‌ها توارثی هستند و توسط لوکوس های خاص ژنتیکی کنترل می‌شوند و می‌توانند به انتخاب های محیط پاسخ دهند (۱۲،۱۳). به طور مثال، فراوانی کیاسما در هر بی‌والانت در آمیزش گیاه با جنس خودش در مقایسه با آمیزش گیاه با جنس دیگر تغییر می‌کند (۱۳،۱۴).

تحقیق حاضر تغییرات ساختاری در کروموزوم‌های ارقام انار را نشان می دهد، به خصوص وجود کوادری‌والانت در برخی از ارقام انار که جز گونه گیاهی دیپلوئید محسوب می-شود. این امر با مطالعات انجام شده در توالی‌یابی ژنوم (۱) مطابقت داشت. در انارهای چینی در برخی از قسمت‌های

توالی ژنوم، مضاعف شدن گزارش شده است و برخی دیگر از بخش‌های ژنومی دارای انواع بازآرایی‌ها مثل جابجایی و وارونگی بودند. این تغییرات ساختاری در ژنوم می‌تواند به تغییرات فنوتیپی مشاهده‌شده مربوط باشد (۱).

فراوانی و پراکندگی کیاسما تحت کنترل ژنتیکی است و تغییرات در این ویژگی‌ها ممکن است ناشی از تغییر در نوترکیبی ژنتیکی باشد که منجر به افزایش تنوع ژنتیکی نسل بعدی می‌گردد و احتمالاً باعث ایجاد سازگاری‌های ژنی جدید شود (۲،۱۵،۱۶). کنترل دقیق جفت شدن کروموزوم-ها به منظور رخ دادن یک میوز منظم و پایداری در تولید مثل در گیاهان حیاتی است. وجود و فعالیت ژن‌های کنترل کننده جفت شدن در چندین گونه گیاهی مانند *Avena sativa*، *Festuca arundinacea*، *Brassica napus*، *Gossypium hirsutum*، *G. barbadense*، *Loliumperenne*، *L.multiflorum* و *L. Rigidum* گزارش شده‌است (۷).

شکل‌گیری گامت کاهش نیافته (2n)

ارقام انار مورد مطالعه پتانسیل متفاوتی در تولید دانه-های گرده کاهش‌نیافته داشتند. شیدایی و نورمحمدی (۲۰۰۵) از وقوع میزان کاهش گرده در ۱۹ رقم انار خبر دادند (۹). مشخص شده است که گامت‌های کاهش‌نیافته در تولید گیاهان پلی‌پلوئیدی در چندین گونه گیاهی از جمله محصولات گیاهی مهم از نظر کشاورزی نقش دارند (۱۷). ناهنجاری‌ها/مکانیسم‌های مختلف سیتولوژیکی می‌تواند منجر به تشکیل گرده 2n شود، مانند ناهنجاری در رشته دوک، تشکیل سلول چند قطبی، چسبندگی کروموزوم و غیره (۲،۵). با این حال، ما در ایران هیچ گزارشی در مورد انارهای تتراپلوئید مشاهده نکردیم. این امر ممکن است به دلیل عدم بقاء گرده‌های پلی‌پلوئیدی تولید شده باشد و یا نهال‌های پلی‌پلوئیدی تشکیل شده نمی‌توانند برای رشد و بقاء مناسب رقابت کنند. اگرچه، تکثیر ژنوم عامل مهمی در تکامل دودمان های یوکاریوتی است، اما منجر به اشکالاتی در تفکیک منظم کروموزوم‌ها در میوز می‌شود و منجر به ناباروری می‌گردد (۴). به هرحال، با دانستن این پتانسیل در برخی از ارقام انار، ممکن است از دانه‌های گرده کاهش نیافته به منظور گرده‌افشانی دستی انارها استفاده شود.

فرایند مضاعف شدگی کل ژنوم whole genome duplication (WGD) به عنوان یکی از منابع بزرگ تغییرات ژنومی تکاملی و انعطاف‌پذیری عمل کند، از این رو پیشنهاد شده است که یکی از مکانیسم‌های اصلی ایجاد تنوع و گونه زایی گیاه می‌باشد (۱۸).

رسته بندی PCA نشان داد که جفت شدن کروموزوم-ها، فراوانی و پراکندگی کیاسما ارقام انار مورد مطالعه بسیار تحت تأثیر طول جغرافیایی قرار گرفته و یا با آن در ارتباط است. به طور مشابه، بی‌نظمی در میوز در ارقام مورد مطالعه با ارتفاع در ارتباط بود.

تغییرات شرایط محیطی به سمت مناطق جغرافیایی شرقی ممکن است دلیل ناهنجاری‌های میوز باشد. شرایط محیطی مضر مانند تنش‌های غیرزیستی می تواند به طور قابل توجهی تشکیل اسپور نر و بلوغ گرده و تعداد دانه‌ها را کاهش دهد. همانطورکه قبلا پیشنهاد شده است (۱۸)، تغییرات در متابولیسم قند و اختلال در تأمین انرژی مناسب برای میکروسپورهای در حال رشد و سایر بی‌نظمی‌های عملکردی منجر به اختلال در تشکیل گامت و یا لقاح می-شود (۱۸). در برخی موارد، تنش‌های غیرزیستی منجر به پروسه های متفاوت گامتوژنی می‌شود که باعث انعطاف-پذیری ژنتیکی و سازگاری تکاملی نسل بعدی می گردد. به طور مثال تنش دمایی، باعث ایجاد گامت 2n در گیاه گل رز گردیده است. در دوره‌های کوتاه‌مدت استرس دمایی (گرمایی) (به عنوان مثال ۴۸ ساعت در دمای 36^{0C}) منجر به القاء ایجاد نابجای دوک‌های موازی و تری‌پلار در میوز II به جای دوک‌های عمودی نرمال می‌شود و در نهایت باعث تولید گامت‌های 2n می‌گردد (۱۸). در مقابل گل رز، دمای بالا در گونه‌های دیگر مانند *Lotus tenuis*، *Capsicum annuum* و گونه‌های گندم می‌تواند تشکیل گامت‌های 2n نر را افزایش می‌دهد (۱۸)

در نتیجه، بررسی متا آنالیز از ویژگی‌های میوز در ۸۸ رقم انار با توجه به فراوانی و پراکندگی کیاسما، جفت شدن کروموزوم‌ها و بی‌نظمی‌های میوزی انجام شد. تمام داده‌های به دست آمده به دانش ما در مورد پتانسیل انار برای تولید گامت 2n کمک می‌کند. همچنین، بسیاری از بی‌نظمی‌های سیتولوژیکی با پراکندگی ارتفاع در ارقام مرتبط است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد کمال قدردانی را دارند.

منابع مورد استفاده

1. Luo, X., Li, H., Wu, Z., Yao, W., 2020.The pomegranate (*Punica granatum L.*) draft genome dissects genetic divergence between soft- and hard-seeded cultivars. Plant Biotech J 18: 955-968.
2. Sheidai, M., 2007. B-chromosome variablity in pomegranate (*Punica granatum L.*) cultivars. Caryologia 60: 251-256.
3. Karp, A., Jones, R. N., 1982. Cytogenetics of Lolium perenne. Part 1: Chiasma frequency variation in inbred lines. Theoretical and Applied Genetics 62 (2): 177-183.
4. Morgan, C., Zhanga, H., Henrya, C. E., Franklinc, F. C. H., Bomblies, K., 2020. Varietal variation and chromosome behaviour during meiosis in Solanum tuberosum. PNAS 117: 8980-8988.
5. Sheidai, M., Saneghi, A., Havali-Shahreiyari, Z., Noormohammadi, Z., Farahanei F., Tabatabaei-Ardakanei, Z., 2008. RAPD and cytogenetic study of some pomegranate (*Punica granatum L.*) cultivars. Caryologia 61: 68-73.
6. Sheidai, M., Kolahizadeh, S., Zahra Noormohammadi, Z., Nasim Azani, N., Niko, M., 2012. Correlation between geography and cytogenetic diversity in pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars in Iran. Acta Botanica Brasilica 26(4): 953-965.
7. Jenczewski, E., Alix, K., 2004. From diploids to polyploids: the emergence of efficient pairing control genes in plants. Critical Reviews in Plant Sciences 23(1): 21-45.
8. Talebi-Baddaf, M., Sharifi-Neia, B., Bahar, M., 2003. Analysis of genetic diversity in pomegranate cultivars of Iran, using Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) markers. Pp. 343-345. In: Proceedings of the Third National Congress of Biotechnology. Iran, Mashhad.
9. Sheidai, M., Noormohammadi, Z., 2005. Chromosome pairing and unreduced gamete formation in nineteen pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. Cytologia 70: 257-265.
10. Sheidai, M., Noormohammadi, Z., Saneghi, A., Shahryari, Z. H., 2007. RAPD analysis of eleven Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. Acta Biologia Szegediensis 51: 61-64.
11. Podani, J., 2000. Introduction to exploration of multivariate biological data. (English Translation). Leiden, Backhuys Publishers.
12. Moran, E. S., Armstrong, S. J., Santos, J. L., Franklin, F. C. H., Jones, G. H., 2002. Variation in chiasma frequency among eight accessions of arabidopsis thaliana. Genetics 162: 1415-1422.
13. Stapley, J., Feulner, P. G. D., Johnston, S. E., Santure, A. W., Smadja, C. M., 2017. Variation in recombination frequency and distribution across eukaryotes: patterns and processes. Phil Trans R Soc B 372: 20160455.
14. Choudhary, A., Wright, L., Ponce, O., Chen, J., Prashar, A., Sanchez-Moran, E., Luo, Z., Compton, L., 2020. Varietal variation and chromosome behaviour during meiosis in Solanum tuberosum. Heredity 125: 212-226.
15. Rees, H., Jones, R. N., 1977. Chromosome Genetics. London, Edward Arnold.
16. Lelley, T., 1978. Genetic control of chiasma frequency and distribution in rye secale cereal. Canadian Journal of Genetics and Cytology 20 (4). 459-600.
17. Villeux, R., 1985. Diploid and polyploid gametes in crop Plants: Mechanisms of formation and utilization in plant breeding. In: Janick, J. (Ed.). Plant Breeding Review. Vol. 3. Wesport, Connecticut, AVI Publishing Company.
18. DeStorme, N., Mason, A., 2014. Plant speciation through chromosome instability and ploidy change: Cellular mechanisms, molecular factors and evolutionary relevance. Current Plant Biology 1: 10-33.